

ALFA-SUGARAK HATÓTÁVOLSÁGÁNAK MÉRÉSE IONIZÁCIÓS KAMRÁVAL

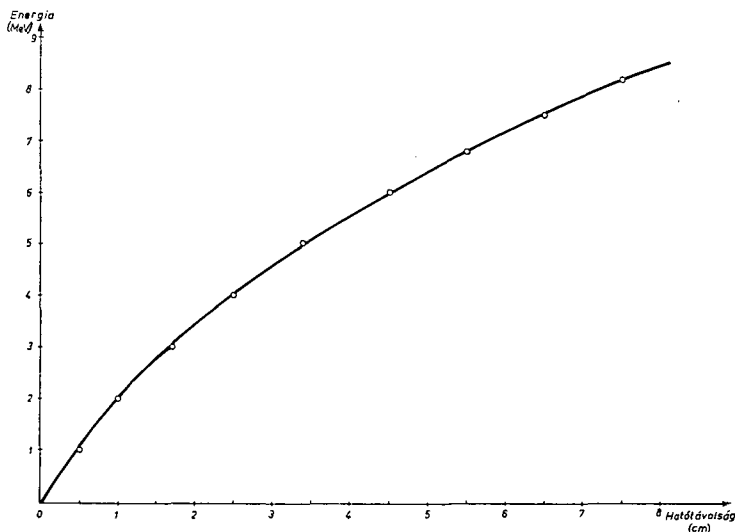
Írta: KOVÁCS LÁSZLÓ

Az alfa-sugarak — közismerten — ionizáló hatásúak. Ha az alfa-sugár rész. levegőben halad, akkor minden egyes ionizáló kölcsönhatás alkalmával átlagosan 32,5 eV energiát veszít, ezáltal a sebessége csökken. Amennyiben az alfa-részecske sebessége a termikus sebesség értékét eléri, sugár jellege megszűnik és a környezetéből két elektront felvéve He atomként a környező gáz alkotórészévé válik.

Az azonos atommagok bomlásakor a magból kilépő alfa-részecskék mindegyikének azonos E_0 energiája van, azaz azonos v_0 sebességgel lépnek ki a magból. Ebből és az előzőekből következik, hogy minden egyes alfa-részecske azonos távolság befutása után veszti el sebességét, tehát az alfa-részek R_0 hatótávolsága azonos. A részecskék kezdeti energiája és a hatótávolság között a következő empirikus képlet adható meg:

$$R_0 = aE_0^n,$$

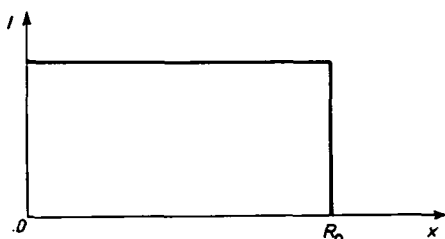
ahol a a gáz minőségétől és állapotától függő állandó, R_0 a hatótávolság cm-ben, E_0 a részecske kilépési energiája, n pedig E_0 -tól függően 1,4-től 2-ig változhat, s nagyobb energiájú részek esetén nagyobb. Természetes radioaktív anyagok esetén normális nyomású levegőben, ahol R_0 3—7 cm között változik, $a=0,309$ -nek és $n=\frac{3}{2}$ -nek (az E_0 energiát MeV-ban mérve) adódik (Gieger képlet).



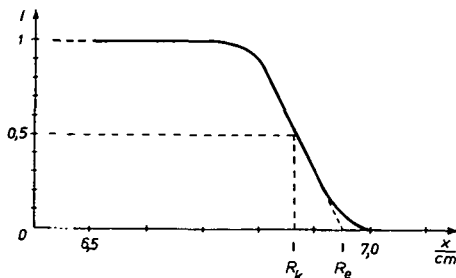
1. ábra

Az alfa-sugarak hatótávolságának és a kilépési energiának az összefüggését 15 °C-os és normális nyomású levegő esetén jó közelítésben az 1. ábrán látható grafikon adja meg [2].

Ha az alfa-sugárzás I intenzitását, vagyis egy adott felületre időegység alatt jutó alfa-részek számát a távolság függvényében ábrázoljuk, akkor az eddigiek alapján a következő grafikont várjuk (2. ábra):



2. ábra



3. ábra

A mérések alapján felvett intenzitás-távolság ($I-x$) grafikonok alakja azonban eltér ettől. Pl. a $^{214}\text{Po}(\text{RaC}')$ $I-x$ grafikonját ESPE és KUHN [3] mérései alapján a 3. ábra mutatja.

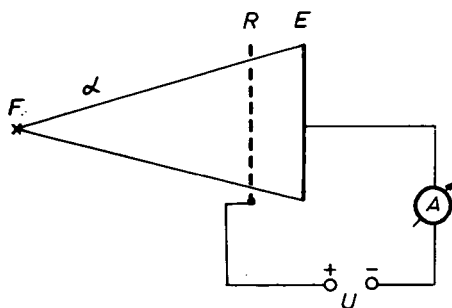
Annak oka, hogy nem mindegyik alfa-részecske azonos távolság befutása után veszi el energiáját egyrészt az, hogy az egyes alfa-részecskék nem azonos valószínűséggel lépnek kölcsönhatásba a levegő molekuláival, másrészt azoknak az alfa-részecskéknek, melyek a sugárforrás mélyebb részeiből indulnak, a kilépési energiája E_0 -nál kisebb. Így az R_0 hatótávolság már egyértelműen nem állapítható meg. Ezért R_0 helyett bevezették az R_k közepes hatótávolságot és az R_e extrapolált hatótávolságot (3. ábra). Az R_k hatótávolság az a távolság, melynél az intenzitás a felére csökken, az R_e távolság pedig az $I-x$ görbe inflexió pontjához húzott érintő által metszett távolság.

Amennyiben nem szükséges az alfa-sugárzás energiáját nagy pontossággal meghatározni, úgy hatótávolságnak elfogadhatjuk az R_k -t. Ez viszonylag gyors energia meghatározást tesz lehetővé. Amennyiben pontosabb érték szükséges, úgy R_k és R_e ismeretében H. MELCHER könyvében [4] leírtak szerint járhatunk el, mely lényegesen bonyolultabb számítást igényel.

Amint tehát látható, az alfa-sugár részecskéinek energiájának meghatározása a hatótávolság mérésére vezethető vissza. A hatótávolság meghatározása azonban nemcsak az alfa-sugarak közvetlen intenzitás mérésével, hanem ionizációs kamra alkalmazásával is történhet. Tekintve, hogy tanszékünk ennek a mérésnek elvégzéséhez szükséges eszközökkel rendelkezett, ezt a mérési módszert dolgoztuk ki a laboratóriumi gyakorlatok céljára.

Az ionizációs kamra elvi felépítését a 4. ábra szemlélteti.

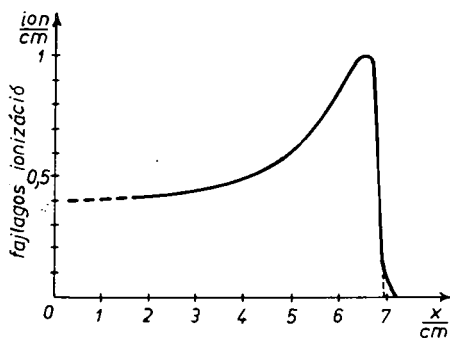
Az F sugárforrásból elinduló alfa-sugarak áthaladnak az R rácson, és az R és E által határolt térben ionizálják a levegő molekuláit. Az U feszültség hatására az ionok ionizációs áramot létesítenek, melyet az A ampermérővel mérhetünk. Ha a kamrába azonos számú alfa-rész jut és az U kamrafeszültség egy megfelelő értéknél, a telítési feszültség értékénél nagyobb, az ionizációs áram egyenesen arányos az $R-E$ térben keletkező ionok mennyiségével. Az $R-E$ légréteg vastagságából és az I ionizációs áram erősségéből kiszámítható az alfa-részek által az ionizációs kamra



4. ábra

1 cm-es légrétegére jutó ionizációs áram, az ún. fajlagos ionizációs áram. Ebből, ismerve a preparátum erősségét, kiszámítható egy alfa-rész 1 cm-es útján keltett ionpárok száma, az ún. fajlagos ionizáció. Könnyen belátható, hogy a fajlagos ionizációs áram és a fajlagos ionizáció — azonos töltésű ionokat feltételezve — szigorúan arányos.

Ha az alfa-sugárzás terében vizsgáljuk a fajlagos ionizációt a távolság függvényében, akkor pl. $^{214}_{84}\text{Po}$ esetében az 5. ábrán látható görbét kapjuk [2].



5. ábra

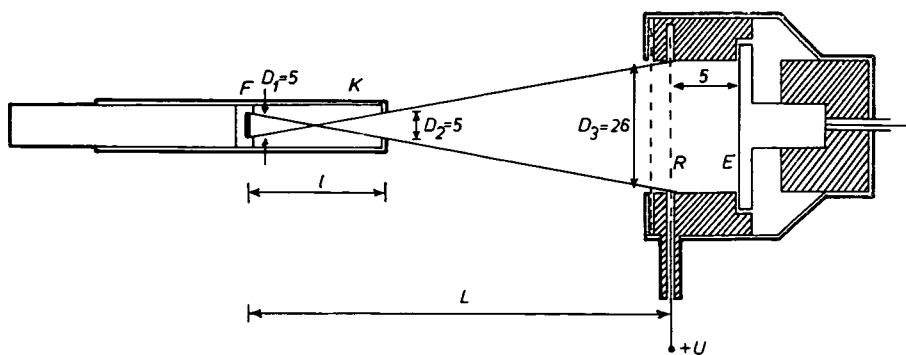
A görbéből látható, hogy az alfa-sugarak pályájuk elején elég hosszú útszakaszon azonos mennyiségű iont termelnek, ami a maximális fajlagos ionizációs érték 0,4-e (ez az érték 15 °C hőmérsékletű, 760 Hgmm nyomású levegő esetén kb. $2,5 \cdot 10^4$ ion cm-ként). Pályájuk vége felé növekszik az 1 cm-en létrehozott ionok száma ($6,2 \cdot 10^4$ ion/cm), mivel kisebb sebességük miatt nagyobb az ionizáció valószínűsége. Pályájuk legvégén sebességüket elvesztve (termikus sebesség) ionizáló képességük gyorsan csökken. Ez a csökkenő szakasz, az intenzitás csökkenéshez (3. ábra) hasonlóan, egy Gauss eloszlási függvény integrál görbéjének felel meg [4].

Ezen a görbén is, az intenzitás görbénél látottakhoz hasonlóan, meghatározható a maximális érték feléhez tartozó R_k hatótávolság, valamint az inflexiós ponthoz húzott érintő által kimetszett R_e extrapolált hatótávolság, és ezekből az ott látottaknak megfelelően kiszámítható a sugárreszek energiája.

Ha az 5. ábrán látható fajlagos ionizációs görbét akarjuk megkapni mérések alapján, akkor célszerű, hogy az $R-E$ elektródák távolsága kicsi legyen, bár ebben az esetben a mért ionizációs áram is igen kicsi.

Az intenzitás változását (3. ábra) és a fajlagos ionizációt (5. ábra) ábrázoló görbék csak abban az esetben az ábrákon látható alakúak, ha a sugárforrás azonos E_0 energiájú alfa-sugarakat bocsát ki. Abban az esetben, ha a sugárforrás több komponenset tartalmaz, úgy a kibocsátott alfa-sugárzás is több komponensű lesz, és az intenzitás és a fajlagos ionizációs görbék is összetettek.

Amint már fentebb említettük, az ionizációs kamrával történő mérésnél biztosítanunk kell, hogy a kamrába — a preparátum hatótávolságán belül — mindig ugyanakkora számú alfa-rész jusson be. Ezt a feltételt kísérletileg úgy teljesíthetjük, hogy a sugárforrást egy kollimátorcsőbe helyezzük (6. ábra). A sugárforrás olyan l



6. ábra

távolságra legyen a K kollimátorcső kör alakú nyílásától, hogy a várható L hatótávolságon belül az R — E ionizációs kamrába jutó alfa-részek száma ne változzék. E feltétel biztosítása azt eredményezi, hogy a sugárzási térszög nagyon kicsi lesz, és így az ionizációs kamrába jutó alfa-részek száma már a sugárforrás közelében történő méréseknél is kevés, vagyis a mérhető ionizációs áram igen kicsi. Ezért az árammérőnknek igen nagy erősítésű elektronikus ampermérőnek kell lennie.

A méréshez használt sugárforrás $5 \mu\text{C-s } {}^{226}_{88}\text{Ra}$, melyet egy ólomhenger 5 mm átmérőjű nyílásában helyeztek el, és 0,005 mm vastagságú alumíniummal fedtek be. A sugárforrás egy rézrúdra erősíthető, melyre 5 mm átmérőjű nyílással ellátott kollimátorcső húzható.

A kollimátorcső előtt helyezkedik el a *Leybold* gyártmányú ionizációs kamra, mely egy 26 mm hasznos átmérőjű fémhenger. Elejét 0,5 mm átmérőjű rézdrótból szőtt szita zárja le, mint árnyékoló háló, és ezen belül található egy ugyanilyen rézszövet 2 mm-rel beljebb, a külső háztól elszigetelten. Ez alkotja az ionizációs tér R elejét, és ettől 5 mm-re az E fém ellenelektroda zárja le a teret (6. ábra). Az E ellenelektrodától egy kapacitásszegény árnyékolt kábel megy a nagy bemeneti ellenállású ($3 \cdot 10^9$ ohm) mérőműszerhez. Az R hálós elektrodától a szigetelőfalon keresztül vezet egy kábel az U feszültségű áramforrás pozitív pólusához. Az ionizációs kamra külső fémházát, az F sugárforrást tartó fémrudat és a mérőműszer kimeneti pontját az áramforrás negatív pólusával kötjük össze és földeljük.

Ha a mérőberendezéstől azt kívánjuk, hogy $L=7$ cm távolságig a térszög ne változzék, akkor (a geometriai feltételek szerint)

$$l = \frac{2L}{\frac{D_3}{D_2} + 1}$$

összefüggés alapján a kollimátorcső elülső nyílását $l=22,6$ mm távolságra kell beállítanunk a sugárforrás felületétől. Ilyen esetben, figyelembe véve a sugárforrás intenzitását, a minimális ionizációs áram

$$I \approx 10^{-14} \text{ A.}$$

Ha ezen áramerősség egy $3 \cdot 10^9$ ohmos ellenálláson halad át, akkor az ellenálláson bekövetkezett feszültségesés:

$$U = 3 \cdot 10^{-5} \text{ V} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mV.}$$

Ezen kis feszültség mérésére készítettünk egy térvezérlésű, integrált áramkörös, 100 skr osztású, 3 mV végkitérésű, mutatóval bíró feszültségmérőt. A mérőerősítő több fokozatú bemenettel van ellátva, így a méréshatárt 10^{-14} és 10^{-8} A között változtatni lehet [5]. Az 1. táblázat egy mérési sorozat középértékét adja $l=7$ mm-es kollimátor állás esetén.

1. táblázat

$l = 7 \text{ mm}$

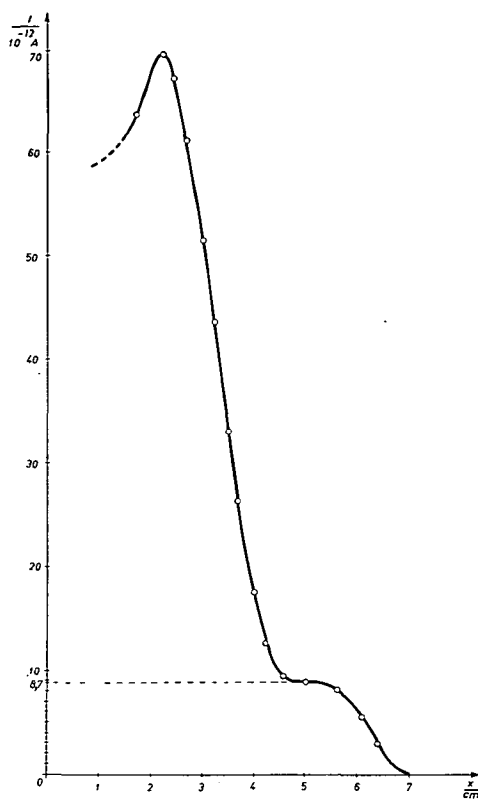
$\frac{x}{\text{cm}}$	$\frac{I}{10^{-12} \text{ A}}$	$\frac{x}{\text{cm}}$	$\frac{I}{10^{-12} \text{ A}}$	$\frac{x}{\text{cm}}$	$\frac{I}{10^{-12} \text{ A}}$
1,5	61,5	3,4	36,6	5,3	8,4
1,6	62,5	3,5	33,0	5,4	8,4
1,7	63,5	3,6	29,4	5,5	8,4
1,8	65,0	3,7	26,0	5,6	8,0
1,9	66,5	3,8	22,6	5,7	8,0
2,0	68,0	3,9	20,0	5,8	7,3
2,1	69,0	4,0	17,5	5,9	6,7
2,2	69,5	4,1	15,5	6,0	6,0
2,3	68,5	4,2	12,5	6,1	5,3
2,4	67,0	4,3	12,0	6,2	4,7
2,5	65,5	4,4	10,6	6,3	3,7
2,6	63,5	4,5	10,0	6,4	2,7
2,7	61,0	4,6	9,3	6,5	2,0
2,8	57,5	4,7	9,0	6,6	1,3
2,9	54,5	4,8	8,7	6,7	0,7
3,0	51,5	4,9	8,7	6,8	0,5
3,1	49,0	5,0	8,7	6,9	0,3
3,2	44,3	5,1	8,7	7,0	0,0
3,3	40,5	5,2	8,7	7,1	0,0

2. táblázat

Természetes Ra család alfa-sugárzó tagjai

	Felezési idő	Alfa-sug. energia MeV
$^{226}_{88} \text{Ra}$	1620 év	4,777
$^{222}_{86} \text{Em (Rn)}$	3,825 nap	5,486
$^{218}_{84} \text{Po (RaA)}$	3,05 perc	5,998
$^{218}_{85} \text{At}$	1,5 sec	6,63
$^{214}_{83} \text{Bi (RaC)}$	19,7 perc	5,505
$^{214}_{84} \text{Po (RaC')}$	$1,637 \cdot 10^{-4}$ sec	7,680
$^{210}_{84} \text{Po (RaF)}$	138,3 nap	5,298

Az 1. táblázat mérési adatait a 7. ábrán ábrázolva megkapjuk a $^{226}_{88}\text{Ra}$ és bomlástermékei fajlagos ionizációs áramát az x (a preparátum és R -háló (6. ábra) távolsága) függvényében. A grafikon alakja azért tér el az 5. ábrán látott grafikontól, mert ez a görbe a Ra és bomlástermékei által kisugárzott összes alfa-sugarak fajlagos ionizációs áramának — vagyis több alfa sugárzó (lásd a 2. táblázatot) az 5. ábrához hasonló specifikus ionizációs áram görbéje szuperpozíciójának — a távolságtól



7. ábra

való függését mutatja. A komponens alfa-sugarak energiája egy kivételével ($^{214}_{84}\text{Po}$, RaC') közel azonos, aminek következménye a görbe maximumtól való szinte teljesen sima esése a kb. 5 cm-es távolságig (ezt a „sima” esést az is biztosította, hogy ennél a mérésnél nem tartottuk be az egyébként betartandó feltételt, nevezetesen azt, hogy az ionizációs kamrába a mérés során mindig azonos számú alfa-rész jusson). Az 5 cm-es távolság közelében az esés megszűnése, majd ezen túl a görbének az 5. ábrához hasonló végződése azt mutatja, hogy egy komponens specifikus ionizációs árama szelektív maximummal bír, vagyis a többinél jelentősen nagyobb energinájú alfa-részeket bocsát ki. Ez más szóval azt jelenti, hogy 5 cm-nél nagyobb távolságra a Ra -családból már csak a legnagyobb energiájú alfa-sugárzónak, a $^{214}_{84}\text{Po}$ -nak homogén alfa-sugárzása jut.

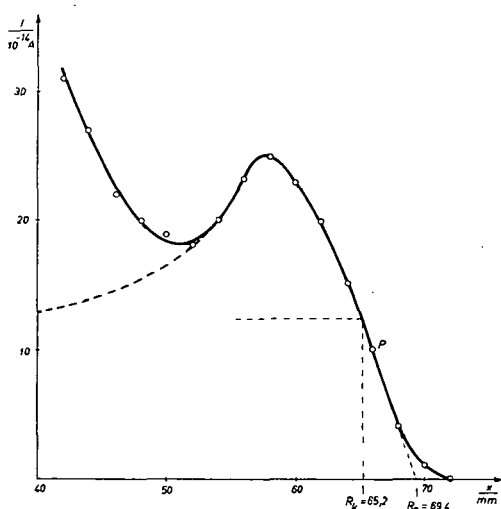
A következőkben csak ennek az alfa-sugárzásnak vettük fel specifikus ionizációs áram görbét, de most már az ionizációs kamrába azonos számú alfa-részek bejutá-

3. táblázat

 $l=22,6$ mm

$\frac{x}{\text{mm}}$	$\frac{I}{10^{-14} \text{ A}}$	$\frac{x}{\text{mm}}$	$\frac{I}{10^{-14} \text{ A}}$
42	31	59	25
43	29	59	24
44	27	60	23
45	25	61	21
46	22	62	20
47	21	63	18
48	20	64	15
49	19	65	13
50	19	66	10
51	18	67	7
52	18	68	4
53	19	69	2
54	20	70	1
55	21	71	1
56	23	72	0
57	25	73	0

sát biztosító $l=22,6$ mm-es kollimátorcső állásban. A mérési adatokat a 3. táblázat adja. A fajlagos ionizációs áramot az x távolság függvényében a 8. ábra mutatja. Ezen görbe 52 mm-től kezdődő része a ^{214}Po -ra vonatkozik, az előtte levő ág a többi komponens lefutó ága. Ha a lefutó ágtól eltekintünk és a legnagyobb energiájú komponens $x=0$ irányban extrapoláljuk (szaggatott vonal), akkor ez a görbe meg egyezik az 5. ábra görbe-menetével. A maximális fajlagos ionizációs áram ($25 \cdot 10^{-14}$ A) felénél a görbe metszésével $R_k=65,2$ mm közepes hatótávolság, a görbe P inflexiós pontjához húzott érintővel pedig $R_e=69,4$ mm extrapolált hatótávolság adódik.



8. ábra

W. ESPE és A. KUHN adatai [3]:

$$R_k = 68,75 \text{ mm},$$

$$R_e = 69,50 \text{ mm}.$$

Az általunk mért R_k , illetve R_e eltérése ezen adatoktól $-5,15\%$, ill. $+0,15\%$.

Az alfa-sugarak energiája, figyelembe véve az

$$R = 0,309 \cdot E^{\frac{3}{2}}$$

tapasztalati összefüggést R_k felhasználásával $E_1 = 7,65 \text{ MeV}$ -nak, R_e felhasználásával $E_2 = 7,96 \text{ MeV}$ -nak adódik. Az eltérés az irodalmi értéktől (2. táblázat) az első esetben $-0,66\%$, a második esetben $+3,65\%$.

A fent elmondottakból látható, hogy egy viszonylag egyszerű ionizációs kamra, valamint egy 10^{-14} A/skr érzékenységi ampermérő segítségével az $5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ aktivitású $^{226}_{88}\text{Ra}$ sugárforrás $^{214}_{84}\text{Po}(\text{RaC}')$ komponense alfa-sugárzásának hatótávolsága és az ebből számítható kilépési energia egyszerű módon meghatározható. A kapott értékek hibája nem nagyobb, mint amit általában a hallgatói laboratóriumi méréseknél elvárhatunk. A mérés elvégzése során a hallgatók kísérletileg képet nyernek egy speciális többkomponensű sugárzás fajlagos ionizációs áramának változásáról, megismerik a közepes és az extrapolált hatótávolság fogalmát, valamint ezek kapcsán tapasztalják a sugárzás és az anyag kölcsönhatásának statisztikus jellegét. Mindezen tények egyrészt lehetőséget adnak, másrészt pedig indokolják, hogy az almonlott mérési eljárást a főiskolai hallgatók laboratóriumi gyakorlatokon elvégezzék, és ezzel az alfa-sugarak tulajdonságairól a modern és korszerű szemléletnek megfelelő ismereteket szerezzenek.

IRODALOM

- [1] NAGY L.: Magkémia és izotóptechnika. Bp., 1969.
- [2] NYESZMEJANOV: Radiokémiai praktikum. Bp., 1959.
- [3] W. ESPE und A. KUHN: Elementare Grundlagen der Kernphysik. Leipzig, 1961.
- [4] H. MELCHER: Transmission und Absorption. Berlin, 1970.
- [5] HALÁSZ T., KOVÁCS L.: A Szegedi Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményei, 174, 1973.

MESSUNG DER WIRKUNGSWEITE VON ALPHA-STRAHLEN MITTELS IONISATIONSKAMMER

L. Kovács

Verfasser gibt eine zur Bestimmung der Wirkungsweite der Alpha-Strahlen dienende Ionisationskammer-Einrichtung bekannt. Mit dem Gerät lässt sich die Wirkungsweite der Po-Komponente eines Ra-Präparates innerhalb einer Fehlergrenze von $5-6\%$ und ihre Energie innerhalb einer Fehlergrenze von $4-5\%$ bestimmen. Das angegebene Messverfahren ist nicht nur wegen seiner Einfachheit, sondern auch, weil es Kenntnisse hinsichtlich der Natur der Alpha-Strahlung vermittelt, höchst geeignet für die Laboratoriumsübungen an der Hochschule.

ИЗМЕРЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПРОБЕГА АЛЬФА-ЛУЧЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ

Л. Ковач

Автор описывает ионизационную камеру, составленную на кафедре, служащую для определения дальности пробега альфа-лучей.

С применением прибора определяется дальность пробега R_0 компонента препарата Ra с ошибкой не выше 5—6%, и энергия этого же компонента с ошибкой не выше 4—5%.

Описанный метод, пригодный и для определения энергии компонента с достаточной высокой энергией многокомпонентного препарата, является весьма пригодным для практических лабораторных занятий, поскольку кроме его простоты, даются и сведения о характере альфа-излучения.